Оглавление

1.Изготовление литых деталей из металлических сплавов

1.1. Общие сведения

1.2. Технологические требования к конструкции деталей

1.3. Литье под давлением

1.4. Формообразование деталей методом литья по выплавляемым моделям

2.Изготовление деталей из пластмасс

2.1. Технологические особенности конструирования пластмассовых деталей

2.2. Изготовление деталей из термореактивных пластмасс

2.3. Изготовление деталей из термопластичных пластмасс

3.Изготовление деталей из керамики

3.1. Исходные материалы керамических изделий

3.2. Изготовление исходной керамической массы

3.3. Методы изготовления керамических деталей

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**1.Изготовление литых деталей из металлических сплавов**

***1.1. Общие сведения***

В производстве РЭС для снижения металлоемкости и трудоемкости изготовление некоторых деталей производят из литых заготовок - отливок. К числу таких деталей относят корпуса сборочных единиц приемников, пе­редатчиков; деталей антенных устройств, волноводных линий; радиаторы охлаждения; детали механизмов различных систем; постоянные магниты.

Основными операциями технологических процессов получения отливок являются: плавка металла, заливка расплава в форму, удаления отливки из формы после ее затвердевания, отрезка литников, термообработка.

В зависимости от применения технологического оборудования и конструкции литейных форм различают следующие виды литейных процессов: литье под давлением, литье в металлические формы, литье в оболочковые формы, литье в песчаные формы. Область применения того или иного способа литья определяется объемом производства, требованиями к геометрической точности, экономической целесообразности.

Типовым технологическим оборудованием являются плавильные печи, машины для литья под давлением, машины центробежного литья, формовочные машины, сушильные агрегаты, металлорежущие станки для отрезки литников.

Технологической оснасткой являются пресс-формы, литейные формы, модели, металлические литейные формы-кокили и т.п.

В зависимости от назначения детали и ее конструкции для получения отливок применяют: стали и сплавы на основе алюминия, меди, титана, магния. Технико-экономическая эффективность процессов литья обоснована возможностью изготовления заготовок для деталей сложной формы, с достаточной точностью размеров при рациональном использовании сплава.

***1.2. Технологические требования к конструкции деталей***

Конструируя литую деталь, необходимо учитывать литейные свойства заливаемого сплава: жидкотекучесть, кристаллизацию и усадку.

**Жидкотекучесть** – это способность металлов и сплавов течь в расплавленном состоянии по каналам литейной формы, заполнять ее полости и четко воспроизводить контуры отливки. Сплавы, затвердевающие при постоянной температуре (эвтектические сплавы), обладают лучшей жидкотекучестью, чем сплавы, образующие твердые растворы и затвердевающие в интервале температур. Чем больше жидкотекучесть, тем тоньше может быть получаемая стенка. В то же время жидкотекучестъ зависит от условий теплоотдачи в форме.

**Кристаллизация** сплава происходит в направлении, перпендикуляр­ном поверхности теплоотдачи. Скорость кристаллизации меняется от максимальной у поверхности до минимальной в центре стенки отливки. Одновременно происходит рост кристаллов-зерен. Для создания равномерной и мелкозернистой структуры желательно уменьшать толщину стенок.

**Усадка** - свойства металлов и сплавов уменьшаться в объеме при охлаждении. Относительная линейная усадка Кл определяется из соотношения

, (5.1)



где - размер формы, - размер отливки при комнатной температуре.



Линейная усадка для углеродистых сталей составляет 2 - 2,4 %, для алюминиевых сплавов 0,9 - 1,5 %, для медных – 1,4 – 2,3 %. Линейная усадка вызывает образование трещин и коробление вследствие торможения усадки в отдельных местах отливок. Объемная усадка (Коб = 3 Кл) приводит к образованию усадочной пористости в утолщенных местах отливки.

Перечисленные свойства сплавов определяют конструктивные особенности деталей, полученных литьем: равностенность, радиусы закруглений, плавные переходы, уклоны, отверстия и армирование.

**Равностенность.** Для обеспечения равномерности усадки и отсутствия усадочных раковин толщина стенок отливки на всем протяжении должна быть одинаковой. Для сохранения необходимой прочности детали отливка усиливается ребрами жесткости (рис.5.1). Толщина ребер жесткости tp составляет: для внешних ребер tp = (0,8 - 0,9) t, для внутренних tp = (0,6 - 0,7)t , где t - средняя толщина стенки отливки. Толщина стенок отливок зависит от методов литья и литьевых сплавов.

**Радиусы закруглений.** Радиусы закруглений предотвращают появление трещин в местах сопряжения стенок вследствие неравномерности кристаллизации. Острые кромки допускаются только на плоскости разъема литейных форм. Радиусы закруглений определяются выражением

, (5.2)



где t1, t2 - толщины стенок; k - коэффициент, зависящий от метода литья.

При литье по выплавляемым моделям и при литье под давлением рекомендуется величина R = 0,8 - 1,0 мм. Радиусы закруглений R на внешних кромках обычно уменьшаются в два раза по сравнению c R внутренних кромок.

Переходы от толстых сечений к тонким должны быть плавными. Рекомендуемый размер перехода определяется из соотношения (где t1 и t2 - размер толстого и тонкого сечения).



**Уклоны и конусность.** На необрабатываемых поверхностях, расположенных перпендикулярно плоскости разъема, необходимо предусмотреть уклоны и конусность. В случае недопустимости по конструктивным соображениям конусность должна входить в припуск и удаляться при механической обработке. Конусность на внешних и внутренних поверхностях при литье по выплавляемым моделям и под давлением 1,5 - 3о.

**Отверстия.** Рекомендуется изготовлять отверстия сразу при литье, так как при последующем сверлении в утолщениях отливок вскрываются усадочные или газовые раковины. При необходимости получения отверстий с чистой поверхностью и точными размерами оставляют припуск на механическую обработку. Не рекомендуется делать очень глубокие отверстия, для которых l > 3d (l, d – глубина и диаметр отверстия). Минимальные значения отверстий, получаемых литьем под давлением из алюминиевых и магниевых сплавов - 1,5 мм, из латуни - 3 мм.

**Армирование** используют в том случае, когда металл детали не полностью отвечает требованиям, например по прочности или антифрикционным свойствам, оно значительно расширяет область применения литых деталей в устройствах РЭС. Метод армирования отливок широко применяется при литье под давлением. В зависимости от назначения можно рассматривать три направления армирования: армирование для создания равностенности; армирование, заменяющее сборку; армирование для создания качественно новых изделий. На рис. 5.2 приведены примеры армирования отливок.

***1.3. Литье под давлением***

Литьем под давлением называется такой метод литья, когда жидкий металл заполняет полость металлической формы (пресс-формы) под принудительно большим давлением (40 – 100 МПа). Литье под давлением является самым производительным способом изготовления тонкостенных деталей сложной конструкции и применяется в РЭС для изготовления корпусов приемников, передатчиков и других деталей. При выборе сплава необходимо учитывать следующие требования: сплав должен обладать достаточной прочностью при высоких температурах, чтобы отливка не ломалась при выталкивании; иметь минимальную усадку; обладать высокой жидкотекучестъю при небольшом перегреве и иметь небольшой интервал кристаллизации. Из сплавов наибольшее применение получили: алюминиевые (AЛ2, AЛ4, AЛ9), магниевые (МЛ5, МЛ6), медные (латуни ЛС59-1Л, ЛК80-ЗЛ). В последнее время этот метод стал применяться и для изготовления стальных и титановых отливок.

Точность размеров отливок зависит от точности изготовления форм. При изготовлении литейных форм по 9-му квалитету точности отливки могут иметь 10 - 11-й квалитет точности. Отливки, оформляемые в разъемных пресс-формах, получаются по 11 - 13-му квалитету. Шероховатость поверхности отливок зависят от шероховатости формообразующей полости формы и продолжительности ее эксплуатации. Внутренняя полость формы, обработанная полировкой или шлифованием, обеспечивает Ra1,25 - 2,5 мкм.

Механические свойства материала деталей значительно отличаются от механических свойств исходных сплавов. При быстром охлаждении в отливках образуется литейная корочка с очень мелкозернистой структурой, толщина которой составляет около 0,5 - 1,0 мм. Поэтому тонкостенные отливки имеют мелкозернистую структуру, повышенную прочность и твердость на 20 - 30 % при одновременном снижении пластичности примерно на 30 % по сравнению другими методами литья.

Детали, отливаемые литьем под давлением, должны быть по возможности тонкостенными. Наилучшее качество получается при толщине стенок 1,5 - 3 мм. Минимальная толщина стенок зависит от размера детали. Так, если площадь внешней поверхности не превышает 250 мм2, то можно получить отливки из алюминиевых сплавов толщиной 1 мм.

При литье под давлением рекомендуется получать отливки как с наружной резьбой (диаметр не менее 6 мм), так и с внутренней (диаметр не менее 4 мм).

Пористость является основной причиной брака и вскрывается при механической обработке. Источниками пористости являются усадка сплава, газы, выделяемые из жидкого металла, и воздух, который захватывается потоком в полость формы. Для повышения качества отливок необходимо предусматривать изготовление литьевых отверстий. Величина припусков на механическую обработку не должна превышать 0,5 мм.

Технологическим оборудованием явля­ются литейная машина, плавильная печь; специальной оснасткой - металлическая пресс-форма. В настоящее время применяются три типа машин для литья под давлением: с холодной вертикальной камерой прессования, с холодной горизонтальной камерой прессования и с вертикальной горячей камерой прессования. Литейные машины с горячей камерой прессования применяют в основном для изготовления отливок из цинковых сплавов. Литейные машины с горизонтальной камерой прессования имеют более короткую литниковую систему, чем машины с вертикальной камерой прессования и, соответственно, меньшие потери тепла и давления при подаче расплава из камеры прессования в полость формы. Производительность их на 10 - 20 *%* выше, они проще в обслуживании и поэтому получают все большее распространение. Эти машины применяются для изготовления отливок из алюминиевых, магниевых и медных сплавов.

На рис. 5.3 представлена схема изготовления деталей на литейных машинах с горизонтальной холодной камерой прессования. Процесс литья заключается в следующем. Расплавленный металл заливается в камеру прессования 4 (рис. 5.3 а), а затем плунжером 5 он под давлением подается в полость разъемной пресс-формы (рис. 5.3 б), состоящей из неподвижной 3 и подвижной 1 частей. Внутренняя полость в отливке оформляется стержнем 2. После выдержки под давлением, необходимой для затвердевания отливки, пресс-форма раскрывается (рис. 5.3 в), извлекается стержень 2 и отливка 7 выталкивателем 6 удаляется из рабочей полости пресс-формы. Время выдержки под давлением зависит от максимальной толщины стенки отливки и составляет примерно 1 - 15 с. Перед заливкой пресс-форму нагревают до 120 - 320 оС. После удаления отливки рабочую поверхность пресс-формы обдувают воздухом и смазывают специальными материалами для предупреждения приварки отливки к пресс-форме. Воздух и газы удаляют через каналы глубиной 0,05 - 0,15 мм и шириной 15 мм, расположенные в плоскости разъема пресс-формы, или вакуумированием рабочей полости перед заливкой расплавленного металла.

Пресс-форма для литья под давлением в процессе работы находит­ся под действием больших внешних сил и высоких температур. Эти воздействия учитываются при конструировании пресс-форм. Детали, оформляющие поверхности отливок (матрицы, пуансоны, стержни, вкладыши), выполняют из термостойких легированных сталей ЗХ2В8 (для алюминиевого, магниевого и медного литья) и меднокобальтобериллиевого сплава для получения стальных отливок. Корпусные детали - плиты пуансонов и матриц - делают из сталей 40 и 50; направляющие втулки, рейки из сталей У7А, У8А. При конструировании пресс-форм размеры полости должны быть увеличены по сравне­нию с размером отливки на величину усадки сплава. Размеры оформляющих частей формы выполняют по 9-му квалитету, а размеры сопрягаемых частей формы по 10 - 11 квалитету точности. При расчете исполни­тельных размеров, кроме усадки, учитывают величину и направление допускаемых отклонений размеров отливки и формы. При выборе коэффициента усадки необходимо учитывать затруднительность усадки на металлических стержнях. Коэффициент усадки внутренних размеров меньше, чем внешних вследствие затруднения усадки.

Пресс-формы являются сложной дорогостоящей оснасткой, стоимость которой окупается только при крупносерийном и массовом производстве.

Основные преимущества процесса литья под давлением: высокая производительность (до сотни отливок в час), высокая точность размеров отливок, возможность изготовления тонкостенных отливок сложной формы, рациональное использование металла, высокая чистота поверхности (Rа 1,25 – 5 мкм), возможность получения нескольких деталей за один цикл. К наиболее существенным недостаткам литья под давлением относятся: пористость заготовки, вызываемая высокими скоростями движения жидкого металла при заполнении пресс-формы и быстрым остыванием металла в форме, высокая стоимость пресс-формы.

В настоящее время создаются автоматизированные комплексы для литья под давлением. В этих комплексах автоматизируется весь цикл выполнения операций: обдув пресс-формы; смазывание пресс-формы и пресс-поршня; поддержание заданного температурного режима пресс-формы; дозировка и заливка сплава из раздаточной печи в камеру прессования; извлечение отливки и транспортирование ее к общему прессу для удаления литников и облоя; контроль и подрегулирование основных технологических режимов; управление всеми механизмами, обеспечивающими выполнение всех операций.

***1.4. Формообразование деталей методом литья по выплавляемым моделям***

Литьем по выплавляемым моделям называется такой метод литья, при котором полость в огнеупорной оболочковой форме, необходимая для получения отливок, образуется за счет выплавления легкоплавких моделей. Основными операциями технологического процесса литья по выплавляемым моделям являются: изготовление выплавляемых моделей; изготовление блоков моделей; покрытие блоков керамической оболочкой и их формовка; термообработка блоков; заливка форм металлом; удаление блоков из опок и очистка их; отрезка литников; термическая обработка отливок. Схема получения отливок методом литья по выплавляемым моделям изображена на рис. 5.4.

Из легкоплавкого модельного состава (50 % парафин 50 % стеарина) в металлической пресс-форме, состоящей из двух частей, изготавливают модели отливок и литниковую систему. Для этого предварительно расплавленный модельный состав заливают или запрессовывают под давлением 20 - 30 МПа в собранную пресс-форму. После затвердения модели пресс-форму раскрывают и извлекают из нее модель. Размеры пресс-формы делаются с учетом соответствующих размеров отливки, с учетом двойной усадки материала модели и металла отливки. Затем модели собираются в блоки (елки), для чего их присоединяют к литниковой системе с помощью нагревателя. По расположению на модельном блоке модели делят на два типа (рис. 5.4 а).

I. Модели присоединяются непосредственно к центральному литнику-стояку. Такой способ применяется для получения мелких отливок несложной формы.

II. Модели присоединяются к питающему кольцевому коллектору. В этом случае питание формы металлом происходит из коллектора. Такой способ присоединения применяют для отливок большой массы и сложной формы, требующих существенной подпитки жидким сплавом в процессе литья.

|  |
| --- |
| I II |

|  |  |
| --- | --- |
| а | б |

Рис. 5.4. Схема процесса получения отливок методом литья по выплавляемым моделям: а – типы литниково-питающих систем; б – литниковая форма: 1 – опока; 2 – блоки с литейной оболочкой; 3 – формовочный наполнитель

На полученный блок наносят путем окунания суспензию - жидкое облицовочное покрытие, состоящее из 30 - 40 *%* гидролизированного этилсиликата (С2Н5О)4Si и 60 - 70 *%* пылевидного кварца. После этого блок обсыпают мелким сухим кварцевым песком и просушивают при комнатной температуре в тече­ние 5 - 6 часов. Эти операции повторяют до получения огнеупорной корочки толщиной 2,5 - 3 мм. Затем производят выплавление моделей из оболочки, для чего блоки помещают в термошкафы (Т = 110 - 120 °С) или погружают в горячую воду (Т = 90 - 95 °С).

Пустотелую огнеупорную форму 2 помещают в металлический кожух, который заполняют формовочным материалом 3 (сухой или влажный кварцевый песок) (рис. 5.4 б). Подготовленную таким образом форму нагревают до Т = 850 – 900 °С в течение 3 - 4 часов. В процессе прокаливания происходят выго­рание остатков парафина и стеарина и спекание огнеупорной оболочки. После прокаливания форма заливается расплавленным металлом и затем после остывания металла керамическая оболочка разрушается или механическим путем, или растворением в щелочном растворе при 120 °С с последующей промывкой горячей водой (для деталей сложных конфигураций). Последней операцией является контроль отливки и удаление литниковой системы.

Точность размеров соответствует 12 - 13 квалитету, а шероховатость Ra2,5 – 5 мкм. К числу наиболее существенных преимуществ этого способа отно­сятся: возможность изготовления отливок самой сложной формы, с ла­биринтами и полостями, получить которые другими методами невозмож­но; получение отливок из любых сплавов с минимальными припусками на обработку (0,2 – 0,7 мм); сокращение расхода металла; снижение трудоемкости последующей механической обработки.

К недостаткам метода относятся высокая стоимость одноразовых литейных форм и весьма длительный производственный цикл получения отливок.

Изготовление отливок по выплавляемым моделям механизировано и автоматизировано, что позволяет применять этот метод при любом типе производства. В крупносерийном и массовом производстве используют автоматические установки для изготовления моделей, приготовления суспензий и нанесения ее на блоки моделей и обсыпки их песком, для прокаливания и заливки форм. Эти установки объединяют транспортные устройства в единую систему.

**2.Изготовление деталей из пластмасс**

***2.1. Технологические особенности конструирования пластмассовых деталей***

**Равностенность**. Одним из основных принципов конструирования пластмассовых деталей является равностенность, устраняющая образование трещин в сочленениях стенок, коробление и усадочную пористость. На рис. 6.1 приведены примеры нетехнологичных (а) и технологичных деталей (б). Для различных пластмасс в зависимости от габаритных размеров существуют оптимальные толщины стенок. Для термопластичных материалов, отливаемых под давлением, при размерах детали до 150 мм, рекомендуемая толщина стенок 1 - 2 мм; для более крупных 2 - 3 мм. Для деталей, изготавливаемых прессованием из термореактивных порошков, толщина стенок 2 - 5 мм, а для волокнистых - 2,5 - 6 мм.

|  |  |
| --- | --- |
| а) | б) |

Рис. 6.1. Примеры создания равностенных деталей из пластмасс: а – нетехнологичные; б - технологичные

**Ребра жесткости.** Отклонения от геометрической формы плоских поверхностей деталей находятся в прямой зависимости от величины прогиба (рис. 6.2 а), возникающего вследствие возникновения внутренних напряжений при охлаждении. Максимальную величину прогиба определяют по эмпирической формуле

, (6.1)



где k - коэффициент, равный 0,01 для термореактивных пластмасс и 0,016 для термопластичных; Lmax - максимальный габаритный размер.

Для устранения коробления и повышения жесткости деталей вводят ребра жесткости, которые не должны касаться опорной поверхности (рис. 6.2 б). На рис. 6.2 в приведены примеры конструирования ребер с одновременным устранением утолщений. Для малогабаритных деталей роль ребер жесткости могут выполнять выпуклые или вогнутые поверхности, устраняющие коробление (рис. 6.2 г).

**Опорные поверхности.** Рациональная конструкция опорной поверхности препятствует короблению, что необходимо при изготовлении корпусных деталей, имеющих опорные поверхности. С этой целью сплошные поверхности должны заменяться выступами, буртиками (рис. 6.3).

**Отверстия.** При конструировании деталей с отверстиями необходимо учитывать возможность появления внутренних напряжений вследствие усадки материала. Лучше располагать отверстия не в сплошных массивах (рис. 6.4 а), а в специальных бобышках с тонкими стенками, что снижает усадку и усилие охвата стержней, оформляющих отверстие (рис. 6.4 б).

**Радиусы закруглений.** На пластмассовых деталях рекомендуется делать плавные переходы и радиусы закругления на кромках. Внешние радиусы выполняются равными 2 – 3 мм. Внутренние радиусы для деталей из пресс-материалов должны быть порядка 1 - 2 мм, а для литых деталей из термопластов 0,5 - 1,0 мм.

**Резьба.** В пластмассовых деталях при формообразовании можно получить готовые резьбы без дальнейшей механической обработки. Минимально допустимый диаметр резьбы для деталей из термопластов и пресс-материалов – 3 мм, для волокнистых пресс-материалов - 4,0 мм.

**Армирование,** как и при литье металлов, расширяет область использования деталей из пластмасс. Армирования применяют для достижения многих целей: облегчения сборочных операций, получения электрических выводов, например в каркасах катушек индуктивностей, дросселей, трансформаторов. При конструировании деталей необходимо учитывать, чтобы армирующие элементы были прочно закреплены в пластмассе, а тип материала арматуры зависит от его назначения. На рис. 6.5 представлены примеры армирования деталей, имеющих различные назначения и методы крепления арматуры.

***2.2. Изготовление деталей из термореактивных пластмасс***

Основным технологическим оборудованием являются гидравлические прессы, а технологической оснасткой – пресс-формы, которые могут быть неразъемные и разъемные, съемные и стационарные.

Технологический процесс формообразования деталей из термореактивных материалов состоит из следующих основных операций: таблетирования, предварительного подогрева таблеток, прессования, удаления грата и литников, термической обработки.

Таблетирование - прессование таблеток из исходного материала (порошка, состоящего из наполнителя и связки). Таблетирование уменьшает объём загрузочных камер пресс-формы, позволяет автоматизировать процесс дозирования и его точность, повышает качество прессованных изделий, уменьшая количество пор и увеличивая плотность материала по всему объему детали. Таблетирование выполняется на высокопроизводительном технологическом оборудовании – автоматических и полуавтоматических таблеточных машинах.

Предварительный подогрев таблеток применяется для сокращения времени подогрева материала в пресс-форме в операции прессования, что снижает основное технологическое время операции прессования в 2-3 раза. Подогрев производится в термостатах или токами высокой частоты. Последний способ подогрева является более качественным и снижает время подогрева в несколько раз. В зависимости от химической природы пресс-материала температура предварительного подогрева находится в пределах от 80 до 200 оС. Операция прессования выполняется на гидравлических прес­сах. Технологической оснасткой являются пресс-формы. Основные переходы операции прессования: укладка арматуры в пресс-форму; загрузка пресс-материала (таблеток); включение рабочего хода ползуна пресса; закрытие пресс-формы и выдержка под давлением в течение времени, необходимого для заполнения пресс-формы и отверждения (полимеризации) пресс-материала; извлечение детали из пресс-формы; очистка пресс-формы и подготовка к загрузке.

Различаются два вида прессования деталей из термореактивных пластмасс: прямое (компрессионное) прессование и литьевое прессование.

**Прямое (компрессионное) прессование.** Схема пресс-формы при прямом прессовании изображена на рис. 6.6. Пресс-материал загружается в рабочую полость 3, матрицы 2, нагретой до температуры 150 – 200 °С, и затем под давлением пуансона онзаполняет рабочий объем пресс-формы, образованный матрицей 2, пуансоном 1 и знаком 4. Время выдержки под давлением выбирают из расчета 0,5 - 2 мин на 1 мм толщи­ны стенки детали.

Прямым прессованием получают детали средней сложности и небольших габаритных размеров из термореактивных материалов с порошковым или волокнистым наполнителем. Преимуществом этого способа является простота конструкции пресс-формы и экономное использование материала. Недостатком - неравномерность температурного поля массы изделия в процессе отверждения и вследствие этого возникновение внутренних напряжений; наличие грата, получающегося в плоскости сопряжения пуансона и матрицы; погрешность размеров по высоте изделия, вызываемая неточностью дозирования и вытеканием материала на плоскость разъема.

**Литьевое прессование.** Схема пресс-формы при литьевом прессовании изображена на рис. 6.7. В отличие от метода прямого прессования прессуемый материал загружается не в полость пресс-формы, а помещается в специальную загрузочную камеру 3, где он нагревается и затем под большим давлением пуансона 1 через литник 4 заполняет формирующую полость 5 матрицы 2. После отверждения материала пресс-форму раскрывают, и готовые детали 5 извлекают из матрицы. Литьевое прессование позволяет получить детали сложной формы с глубокими отверстиями, в том числе резьбовыми.

Достоинство метода: возможность получить детали с нежесткой арматурой, с глубокими отверстиями небольшого диаметра, с различной толщиной стенок, одинаковой плотностью распределения материала по всему объему детали. Это объясняется тем, что пресс-материал, проходя через узкое сечение литника, нагревается и поступает в оформляющую полость уже равномерно размягченным. К недостаткам этого способа относятся: большой расход пресс-материала, повышенная стоимость пресс-форм.

Операцию удаления грата и литников в зависимости от конструкции детали выполняют на металлорежущих станках или слесарным инструментом.

Термическую обработку деталей производят нагревом в воздушных термостатах или в масляной ванне при температуре I20 - I50 оС, зависящей от материала детали, ее формы и размеров. Термическая обработка необходима для снятия внутренних напряжений, возника­ющих в массе детали в процессе прессования и механической обработки. Внутренние напряжения, действующие в процессе эксплуатации, могут вызвать появление трещин и разрушение.

Для прессования применяют одно- и многогнездные пресс-формы. Многогнездные пресс-формы применяют для получения деталей простой формы и небольших габаритных размеров.

Основными технологическими параметрами режимов прессования являются: температура предварительного нагревания пресс-материала; рабочая температура прессования; время выдержки при рабочей температуре и давлении прессования. Параметры режимов выбирают по справочным данным или рассчитывают с учетом технологических свойств исходных пресс-материалов, конструкции формы, геометрии и размеров детали.

Операции прессования выполняют на прессах, типоразмер которых выбирают по необходимому усилию прессования Рпр:

для прямого прессования

Рпр = руд Fизд · n; (6.2)

для литьевого прессования

Рпр = руд Fз.к, (6.3)

где руд – удельное давление, необходимое для переработки пластмассы; Fизд – площадь изделия в плоскости разъема; Fз.к - площади загрузочной камеры; n – количество гнезд в пресс-форме.

Площадь загрузочной камеры определяется из условия

Fз.к ≥ (Fизд · n + Fл) · 1,25, (6.4)

где Fл – площадь литников в плоскости разъема.

Точность размеров прессуемых деталей зависит от точности размеров пресс-формы и коэффициента усадки материала изделия. Обычно достигаемая точность отдельных размеров детали находится в пределах 10 - 14 квалитетов точности. Шероховатость поверхностей деталей определяется шероховатостью рабочих поверхностей пресс-форм и составляет Rа 1,25 – 2,5 мкм.

Прямое и литьевое прессование являются основными методами изготовления деталей из термореактивных пластмасс.

Кроме этих методов применяется еще метод формообразования литьем под давлением.

Литьем под давлением можно изготавливать детали только из некоторых термореактивных пластмасс, обладающих высокой жидкотекучестью: литьевых фенопластов, эпоксидных пресс-материалов, полиимидных пресс-материалов.

Принцип формообразования деталей из термореактивных пластмасс литьем под давлением не отличается от изготовления деталей из термопластичных пластмасс этим методом, который рассмотрен ниже.

***2.3. Изготовление деталей из термопластичных пластмасс***

Наиболее эффективным и производительным методом массового производства деталей из полиэтилена, полистирола, поликарбоната, полипропилена, полиамидов и других материалов является литьё под давлением и выдавливанием (экструзией).

**Литье под давлением** пластмасс осуществляется по тому же принципу, что и литье металлов. Сущность этого способа заключается в следующем. Перерабатываемый материал в виде гранул или крошки из загрузочного бункера 8 (рис. 6.8) подается дозатором 9 в рабочий цилиндр 6 с электронагревателем 4. При движении поршня 7 определенная доза материала поступает в зону обогрева, где он переходит в вязкотекучее состояние, а уже расплавленный материал через сопло 3 и литниковый канал – в полость пресс-формы 1, где формируется изготавливаемая деталь 2. В рабочем (нагревательном) цилиндре на пути движения расплава установлен рассекатель 5, который заставляет расплав протекать тонким слоем у стенок цилиндра. Это ускоряет прогрев материала и обеспечивает более равномерную температуру расплава. После охлаждения и затвердевания материала пресс-форма раскрывается, и готовая деталь с помощью выталкивателей извлекается из нее. Для предотвращения нагревания выше 50 – 70 оС в процессе литья пресс-форма охлаждается проточной водой.

Основными технологическими параметрами, влияющими на качество деталей, являются: температура расплава в цилиндре машины, удельное давление литья, температура пресс-формы, время выдержки под давлением.

Температуру расплава выбирают с учетом реологических свойств и термостойкости полимера. Время выдержки под давлением составляет 2 - 10 мин и зависит от толщины стенок деталей; оно назначается из условия того, чтобы деталь достигла определенной прочности, исключающей необратимую деформацию ее при извлечении из пресс-формы.

Продолжительность цикла литья складывается из времени смыкания пресс-формы, впрыска, выдержки под давлением и раскрытия пресс-формы. Рабочий цикл зависит от вида материала детали, средней толщины стенки и может составлять 10 – 20 с.

Достигаемая точность изделий, получаемых литьем под давлением, соответствует 11 -12 квалитетам точности, а шероховатость поверхностей – Rа 1,25 мкм.

Технологическим оборудованием являются литьевые машины, а технологической оснасткой – пресс-формы. Важным параметром литьевых машин является усилие смыкания Рсм пресс-формы. Для исключения самопроизвольного раскрытия пресс-формы в момент заполнения ее расплавом необходимо выполнение условия

Рсм ≥ Рф (Fизд · n + Fл), (6.5)

где Рф – давление в пресс-форме; Fизд и Fл – площади изделия и литников в плоскости разъема пресс-формы; n – количество гнезд в пресс-форме.

В настоящее время применяют литьевые машины, в которых автоматизированы все операции получения пластмассовых деталей.

**Выдавливание (экструзия)** применяют для изготовления изделий из термопластов постоянного профиля в поперечном сечении: труб, прутков, пленок и т.п. Этот способ характеризуется высокой производительностью процесса и возможностью получения на одном и том же технологическом оборудовании большого многообразия деталей. Выдавливание осуществляется на специальных червячных машинах. Перерабатываемый материал в виде порошка, гранул или крошки из бункера 1 (рис. 6.9 а) попадает в рабочий цилиндр 3, где захватывается вращающимся червяком 2. Червяк продвигает материал, перемешивает и уплотняет его. В результате передачи теплоты от нагревательного элемента 4 и выделения теплоты при трении частиц материала о стенки цилиндра перерабатываемый материал переходит в вязкотекучее состояние и непрерывно выдавливается через калиброванное отверстие 5 в формующей головке 6.

По мере выхода из отверстия головки материал охлаждается и затвердевает, сохраняя профиль и размеры выходных изделий головки. Профиль изделий определяется профилем отверстий в формующей головке. Меняя формирующие головки на литейной машине, можно получить изделия различного профиля (рис. 6.9 б).

**6.4. Изготовление деталей из неметаллических листовых материалов**

**Резка и вырубка.** Большинство листовых неметаллических материалов (гетинакс, стеклотекстолит, текстолит, оргстекло) не обладают достаточными пластическими свойствами, необходимыми для резки и вырубки. Поэтому перед выполнением указанных операций исходные заготовки под­вергают нагреву. Предельная толщина листа для резки и вырубки без подогрева равна I мм для гетинакса и 1,5 мм для стеклотекстолита. При толщине 1 - 5 мм для предотвращения появления дефектов на поверхности среза (трещин, сколов) резку и вырубку производят с предварительным подогревом. Гетинаксы различных марок подогревают до температуры 90 -120 оС, стеклотекстолиты до 70 – 90 °С, текстолиты до 80 - 90 °С. Нагрев производят в электропечах, термостатах или в специальных установках, использующих инфракрасные лучи. Резку выполняют на механических ножницах с параллельным расположением ножей, надежно прижимая заготовку к столу ножниц в зоне резки. При толщине листа свыше 5 мм резку производят дисковыми фрезами без подогрева.

Вырубка производится вырубными штампами на прессах, причем вырубка с подогревом обеспечивает лучшее качество поверхности среза, более высокую точность, меньшие дефекты, но усложняет и удорожает процесс производства. Предельная толщина листа для вырубки без подогрева равна 1,5 мм для стеклотекстолита и 1 мм для гетинакса. Характерными дефектами при вырубке деталей из листовых слоистых материалов являются сколы, трещины и ореолы ( расслоение и выпучивание материала у вырубленных отверстий) у поверхности среза. Основными причинами образования ореолов являются: завышение зазора между пуансоном и прижимом, затупление режущих кромок пуансонов и матриц, недостаточное усиление прижима, нарушение режима подогрева заготовки. Шероховатость среза при вырубке получается в пределах Rа 10 – 20 мкм, точность размеров значительно ниже точности при вырубке отверстий в металлических деталях.

**Сверление**. При сверлении термореактивных пластмасс с волокнистыми и слоистыми наполнителями (особенно стеклотекстолита), сверла из быстрорежущей стали быстро изнашиваются, что приводит к уменьшению размера отверстий. Поэтому при сверлении отверстий, к которым предъявляются высокие требования по точности, применяют сверла из твердых сплавов. Низкая теплопроводность пластмасс вызывает местный разогрев ее в зоне обработки, что приводит к некоторым негативным явлениям. Например, при сверлении коммутационных отверстий в многослойных печатных платах разогретая пластмасса обволакивает срезы фольги, выходящие в отверстие, и затрудняет получение электрической коммутации между слоями платы. Для охлаждения зоны сверления используют только газообразные вещества, не содержащие влаги, а применение жидких охлаждающих веществ приводит к замасливанию отверстий. Для получения хорошего качества обработанных отверстий рекомендуется применять скорости резания V = 40 - 50 мм/мин и подачи равной 0,1 - 0,2 мм/об, а при обработке точных и чистых отверстий - 0,03 - 0,05 мм/об.

**3.Изготовление деталей из керамики**

*3.1. Исходные материалы керамических изделий*

Керамические материалы используют для изготовления различных установочных деталей (ламповых панелей, каркасов катушек индуктивностей, изоляторов, подложек микросхем и др.), пьезоэлектрических резонаторов, конденсаторов. Основными электрофизическими свойствами керамик, применяемых для изготовления деталей, являются: высокое удельное электрическое сопротивление, малые диэлектрические потери, хорошая теплопроводность и высокая термостойкость, высокая химическая стойкость, высокая механическая прочность. Относительная диэлектрическая проницаемость определяется типом керамики и ее назначением и может составлять от 6 до 9000 единиц. Электрофизические и механические свойства каждой конкретной керамики определяются составом исходных компонентов.

Для приготовления керамик, применяемых в РЭС, используют исходные материалы, которые разделяются на две группы: природные и искусственные, получаемые химическим путём.

К первым относятся:

- глина, состоящая в основном из каолинита Al2O3·2SiO2·2H2O и других глинистых минералов (MgO, CaO, TiO2, Fe2O3, Na2O) в малых количествах;

- каолин – горная порода, состоящая из минерала каолинита;

- тальк – непластичный материал 3MgO·4SiO2·H2O с примесью Fe2O3, Al2O3, CaO, Na2O, Cr2O3;

- магнезит MgCO3;

- кальцит, или известковый мрамор (мел) CaCO3;

- кварцевый песок – продукт разрушения горных пород, который содержит 99% SiO2, а остальное - Al2O3 и другие вещества;

- плавиковый шпат CaF и ашарит 2MgO·B2O3·H2O, которые вводят в керамику в количестве 2 – 3 % для улучшения спекаемости керамики.

К искусственным относятся:

- глинозём Al2O3 – порошкообразная кристаллическая окись алюминия;

- углекислый барий BaCO3;

- двуокись титана TiO2;

- окись олова SnO;

- двуокись циркония Zr2O2;

- окись кальция CaO.

По способности гидролизироваться и образовывать с водой суспензию эти материалы подразделяются на: пластичные и непластичные.

К пластичным исходным материалам относятся глина и каолин, к непластичным – тальк, магнезит, кварцевый песок, глинозем, углекислый барий, двуокись циркония и др.

Структура технологического процесса изготовления деталей из керамики состоит из следующих основных этапов: подготовки исходной керамической массы; формообразования деталей; сушки и низкотемпературного обжига, высокотемпературного обжига; механической обработки (если необходима).

*3.2. Изготовление исходной керамической массы*

Важнейшими предпосылками для получения высокого качества керамической массы при изготовлении деталей радиоэлектронной аппаратуры являются:

1. Точность дозирования шихтового состава.
2. Толщина (зернистость) помола.
3. Химическая чистота компонентов шихты.

Способы приготовления керамических масс сводятся к двум видам: шликерному (водному) и бесшликерному (сухому). Шликер - это наименее концентрированная водная суспензия, обла­дающая хорошей текучестью. Шликерный способ применяется для изготовления пластичных масс из высокоглиноземистых корундовых и корундомуллитовых материалов, содержащих глину (более 10 %).

Бесшликерный, сухой способ, применяется для приготовления пластичных масс из высокочастотных керамических материалов, не содержащих пластичных глин или имеющих их в небольших количествах.

На рисунке 7.1 представлена схема укрупненного технологического процесса приготовления керамических масс водным способом для материалов типа радиофарфора и ультрафарфора.

Измельчение - помол компонентов. Эта операция является основной в процессе приготовления керамической массы. Схема основана на мокром помоле и смешивании компонентов, что дает возможность получать высокую степень помола, достигающую размера частиц до одного микрометра.

Измельчение исходных материалов производят раздавливанием, истиранием и ударом. Раздавливание применяют для среднего и крупного дробления (размер частиц 104 – 105 мкм) на шнековых и валковых дробилках. Для получения более мелких частиц (102 - 104 мкм) применяются бегуны, в которых сочетается истирание и раздавливание.

Тонкий помол производят в шаровых мельницах сухим и мокрым способами.

Шаровая мельница представляет собой металлический барабан, внутренние стенки которого футерованы керамическими плитками. Измельчение материала в шаровой мельнице производится с помощью фарфоровых шаров.

При вращении барабана вокруг своей оси шары поднимаются и падают вниз, производя, таким образом, дробление и истирание, то есть помол исходного материала. Сухой помол применяется при измельчении более крупных частиц исходных материалов. В этом случае ударное действие мелющих тел (шаров) дает большой эффект, чем истирающее действие при мокром помоле.

При мокром помоле наблюдается меньший дробящий эффект шаров, а истирающий больше вследствие расклинивающего действия воды, попадающей в микротрещины частиц измельчаемого материала.

После сухого помола исходных компонентов (талька, мрамора) производят первый мокрый помол с добавлением около 5 % глины и поверхностно-активных веществ (ПАВ). В качестве ПАВ применяют различные вещества, например триэтаноламин, сульфатно-спиртовую смесь и др. ПАВ интенсифицируют процесс мокрого помола вследствие быстрого и равномерного распределения частиц по поверхности, а также проникания в имеющиеся микротрещины.

При втором мокром помоле достигается измельчение и смешивание всех компонентов, составляющих керамическую массу.

После второго мокрого помола следуют операции механической и магнитной сепарации.

Механическая сепарация заключается в продавливании полученной массы через сито с 10000 отв/см2, что составляет размер измельченных частиц около одного микрометра.

Магнитная сепарация применяется для удаления из шликера частиц магнитных материалов, которые могут ухудшить электрофизические свойства керамических изделий.

Обезвоживание является последней операцией технологического процесса. Эта операция выполняется на специальных фильтр-прессах.

После выполнения этой операции в массе остается около 30 – 35 % влаги. Влажная масса в фильтр-прессах формируется в виде коржей. Коржи направляют на последующие операции по формообразованию деталей из керамики.

Рассмотренная технологическая схема является типовой для приготовления исходной массы из других видов керамики.

***3.3. Методы изготовления керамических деталей***

Формование деталей осуществляется прессованием, штамповкой, выдавливанием через профильные отверстия, горячим литьем под давлением. Каждому способу формообразования предшествует ряд технологических операций подготовки исходной керамической массы.

Прессование. Прессованием изготовляют небольшие плоские детали с небольшими выступами или углублениями (например, пьезокерамические преобразователи). При формообразовании деталей методом прессования коржи, полученные на пресс-фильтрах, просушивают с последующим помолом в шаровых мельницах для получения нужной дисперсности (тонины помола). В процессе помола производится пластификация керамической массы добавлением 10 - 17 *%* парафина или 15 *%* водного раствора поливинилового спирта. Для сокращения времени прессования предварительно полученную массу формообразуют в виде брикетов при относительно низком давлении (15 – 40 МПа). Собственно прессование является основной операцией изготовления из пресс-порошка или брикетированной массы. Прессование производится в металлических пресс-формах, устанавливаемых на гидравлических, пневматических или специальных пресс-автоматах с удельным давлением 30 - 150 МПа. Для повышения равномерности распределения используют пресс-формы, обеспечивающие давление как сверху, так и снизу (рис. 7.2). Размеры оформляющих поверхностей пресс-форм определяются из соотношения: , где ln - размер формирующей поверхности пресс-формы (мм); l0 - соответствующий размер детали после обжига (мм); Ky - коэффициент усадки, величина которого зависит от типа керамики и определяется экспериментальными исследованиями или берется по справочным данным и нормативам. Для некоторых типов керамик коэффициент усадки доходит до 1,20 - 4,25 %.



После прессования детали, изготовленные из пластифицированной керамической массы, подвергают сушке при температуре 60 – 70 оС в специальных сушильных шкафах. Высушенная деталь содержит влаги не более 3 %.

Обжиг является заключительной операцией изготовления деталей с заданными свойствами. Обжиг керамических деталей осуществляется в печах периодического или непрерывного действия при температурах от 1200 °С до 1750 °С в зависимости от типа керамики. Например, детали из стеатитовой керамики обжигают при температуре 1380 - 1400 оС, из тикондовой керамики -1200 – 1300 оС, из ультрафарфора – 1360 – 1380 оС, а из алюминооксидной керамики типа ВК94 – 1580 оС.

Наиболее совершенными являются туннельные печи непрерывного действия.

В процессе обжига происходит превращение механической смеси исходной массы в монолитную структуру керамики. Твердые частицы массы, нагретые до высокой температуры, приобретают пластические свойства, переходя в вязкотекучее состояние. В результате диффузионных процессов и химического взаимодействия происходит слияние этих частиц с образованием кристаллической и аморфной фаз.

На электрические и механические свойства деталей из керамики влияют химический состав исходных материалов, размер частиц исходной массы и режим обжига. Малый размер частиц исходной массы способствует лучшему прилипанию их, взаимной диффузии элементов в процессе спекания, уменьшению количества пор. А это обусловливает меньшее значение коэффициента усадки, снижение дефектности и повышение качества.

Основными параметрами режима обжига являются: конечная температура нагрева Тк, время нагрева заготовки до конечной температуры обжига τн, время выдержки при конечной температуре τк и время охлаждения τо (рис. 7.3). Эти параметры существенно влияют на электрические и механические свойства керамических деталей. Например, при быстром нагреве в керамической массе не успевают произойти процессы гомогенизации и спекания частиц, химического образования новых кристаллических фаз и стеклофазы, повышается количество пор, что снижает качество керамики. Обычно режимы спекания деталей из различных типов керамики рассчитываются теоретически и проверяются экспериментально.

После спекания возможна механическая обработка керамических деталей для придания точных размеров. Механическую обработку производят шлифованием абразивными кругами на основе карбида кремния или алмаза.

**Штамповка.** Штамповка отличается от прессования применением более пластифицированной керамической массы и более высокой производительностью. В состав типового пластификатора керамической массы для штамповки деталей средних габаритов входят: вода -12 - 13 *%,* сланцевое масло - 0,61 *%,* керосин - 1,4 - 1,6 *%,* олеиновая кислота - 0,2 *%.* Штампование выполняют в пресс-формах на быстроходных прессах механического действия и пресс-автоматах. Для штамповки используют различные пресс-формы. Один из типов пресс-форм показан на рис. 7.4.

Способ применяется для изготовления деталей сложной формы, имею­щих большую неравномерность распределения массы по рабочему объ­ему пресс-формы. Высокопластифицированная масса хорошо заполняет пресс-форму при сравнительно небольших давлениях (6 - 8 МПа ).

Основными недостатками этого способа являются повышенная неравномерность усадки, приводящая к снижению точности детали, повышенная пористость. Достоинством штамповки является возможность получения деталей сложной конфигурации.

**Выдавливание.** Это непрерывный процесс формообразо- вания изделий постоянного профиля продавливанием керамической массы через профильное отверстие формующей головки. Для выдавливания технологическим оборудованием являются поршневые и червячные прессы, а в качестве технологической оснастки – формообразующие головки. На рис. 7.5 показана схема конструкции формующих головок для получения трубок и стержней.

Необходимая пластичность керамической массы достигается повышенным содержанием воды (12 - 20 %),с добавками декстрина (4 - 7 %) и тунгового масла (около 5 %). Однородность состава керамической массы обеспечивают предварительным многократным пропусканием ее через червячный пресс-мялку.

Выдавливанием через мундштук изготовляют стержни диаметром от 0,5 мм и выше и трубки с минимальным диаметром 2,5 мм.

Процесс выдавливания отличается высокой производительностью и однородной плотностью распределения керамической массы в изделии.

**Горячее литье под давлением** применяют для изготовления небольших керамических деталей любой формы. Основная особенность процесса состоит в том, что заполнение формы производится вязкотекучей керамической массой, нагретой до температуры 80 - 90 °С под давлением 0,3 – 0,5 МПа. Технологическим оборудованием является специальная литейная машина, а технологической оснасткой – металлическая разъемная пресс-форма.

Получение деталей методом горячего литья под давлением происходит в следующей последовательности.

Исходную керамическую массу в виде коржей подвергают обжигу, дроблению и помолу в шаровых мельницах до тонкодисперсного состояния. Затем ее перемешивают с пластификатором (парафин - 11,5 - 13,5 %, олеиновая кислота - 0,5%, воск - 0,2 %) в специальных смесителях. Керамическую массу (шликер) загружают в рабочий бак 3 литейной установки (рис. 7.6), где она предварительно вакуумируется и нагревается до температуры 80 - 90 оС, приобретая вязкотекучее состояние. Вакуумирование применяют для удаления воздушных включений из шликера, что снижает количество пор в керамической детале и уменьшает ее усадку.

Расплавленный шликер 2, находящийся в баке 3, при температуре 80 - 90 °С под давлением сжатого воздуха 0,3 – 0,5 МПа через питающую трубку 1 заполняет разъемную металлическую пресс-форму 6, охлаждаемую водой. Нагрев керамической массы производится жидкостным термостатом 8 с подогревателем 9. Пресс-форма устанавливается на крышке рабочего бака 4 и фиксируется пневматическим прижимом 7.

После затвердевания керамической массы в пресс-форме давление снимают, её разбирают и удаляют заготовку. Затем деталь подвергают сушке, предварительному и окончательному обжигу, который рассмотрен ранее. Вследствие того, что прессовочная масса уже проходила предварительную операцию обжига и вакуумирование шликера, усадка после обжига деталей невелика Ky = 1,08 – 1,10 %. Таким образом, наряду с высокой производительностью этот метод позволяет получать детали самых точных размеров после обжига. При изготовлении деталей с массовым выпуском применяют литейные установки с автоматическим регулированием температуры и времени выдержки.

Точность размеров керамических деталей зависит от метода их изготовления и регламентируется отраслевым стандартом ОСТ 11 аЯО.077.000. Согласно отраслевому стандарту установлены 1, 2, 3 и 4-я группы точности, которые могут быть обеспечены следующими способами изготовления:

1 - 2-я группы точности – механической обработкой (шлифовкой) после обжига деталей, полученных: методами горячего литья под давлением в металлические формы, прессованием;

3-я группа точности – способами: горячего литья под давлением, прессованием, штампованием;

4-я группа точности – способами: выдавливанием через мундштук, штампованием, механической обработкой до обжига.

Группы точности керамических деталей определяются конструкцией, назначением и сопряжением их с другими деталями:

1-я группа точности назначается на размеры, полученные шлифовкой после обжига, обеспечивающие точное сопряжение деталей в сборочных единицах;

2-я группа точности назначается на размеры, полученные шлифовкой после обжига, не сопрягаемые;

3-я группа точности назначается на размеры элементов резьбы, обеспечивающие сопряжение деталей, кроме размеров отверстий на боковых поверхностях каркасов и трубок;

4-я группа точности назначается на все остальные размеры.

Каждому размеру в зависимости от группы точности назначаются допуски, указываемые в таблицах допусков отраслевого стандарта. Так, допустимые отклонения для 1, 2 и 3 группы точности детали размера 10 мм составляют соответственно 0,2; 0,3; 0,4 мм.

Шероховатость поверхности керамических деталей на чертежах не указывается. При необходимости шлифования шлифуемые поверхности деталей указываются на чертеже.

**Изготовление керамических подложек.** В качестве керамических материалов для диэлектрических подложек микросхем применяют высокоглиноземистую керамику ВК94-1, ВК100-2 (поликор), содержащую 94 % и 99,7 % глинозема (Al2O3). Процесс изготовления керамических подложек содержит этапы: подготовки сырьевых материалов; приготовления исходной керамической пластичной массы; формообразования сырьевых заготовок; обжига заготовок; механической обработки.

В керамическую массу, состоящую из глинозема, вводят минерализатор – компонент, регулирующий процесс спекания и образования структуры керамики при обжиге. В качестве минерализующих добавок используют смесь кварцевого песка SiO2, окиси хрома Cr2O3, марганца углекислого MnCO3 (для керамики ВК94-1) и водный раствор хлористого магния MgCl2 (для керамики ВК100-2). В керамическую массу добавляют жидкую органическую (технологическую) связку, состоящую из смеси поливинилбутираля, дибутилфталата и этилового спирта. Керамическая масса с органической связкой образует при комнатной температуре сметанообразную суспензию (шликер).

Формообразование подложек в виде керамической пленки осуществляют отливкой (вытягиванием) на установке типа УБ636 через фильеру на полиэтилентерефталатную пленку (подложку), перемещающуюся со скоростью 0,6 м/мин. Затем керамическую пленку отделяют от подложки с последующим разрезанием ее на отрезки длиной 150 - 200 мм. Полученные отрезки пленки выдерживают в течение определенного времени. В результате испарения компонентов связки или их полимеризации керамическая пленка затвердевает, сохраняя эластичность. Для уплотнения и доведения до заданной толщины отрезки пленки набирают в пакеты и прокатывают в вальцах, а затем из них получают подложку в вырубных штампах с учетом припуска на окончательную механическую обработку после обжига.

Обжиг подложек осуществляют в две стадии - предварительный обжиг для удаления технологической связки и окончательный, в результате которого формируется структура керамики.

Предварительный обжиг проводят в окислительной среде в конвейерных электрических печах. С целью предотвращения коробления подложки укладывают на специальные подставки (бомзы) из глинозема, ограничивающие их деформацию. Температура предварительного обжига (Тк) керамических деталей ВК94-1 и ВК100-2 составляет соответственно 1100 и 1300 оС. Скорость подъема температуры осуществляют ступенчато: от 20 до 300 оС со скоростью 50 град/ч; от 300 до 700 оС – 150 град/ч; от 700 оС и выше – 200 град/ч. При этом время нагрева τк – 1 ч, время охлаждения τо – 12 -14 ч.

Окончательный обжиг осуществляют в электропечах с молибденовыми нагревателями в вакууме (0,013 Па). Конечная температура обжига Тк керамики ВК94-1 и ВК100-2 (поликор) составляет соответственно 1580 и 1750 оС.

После контроля на наличие сколов, трещин и деформаций рабочие поверхности подложек подвергают шлифовке на плоскошлифовальных станках.